京都大学学術情報リポジトリ
KURENAI 紅
Kyoto University Research Information Repository

京都大学
KYOTO UNIVERSITY

Title	<サロン>寒剤の安定供給
Author(s)	西下, 博紹
Citation	低温物質科学研究センター誌 : LTMセンター誌 (2004), 4: 40-45
Issue Date	2004-07-01
URL	http://dx.doi.org/10.14989/153123
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	publisher

Kyoto University

寒剤の安定供給

Steady Supply of Cryogens

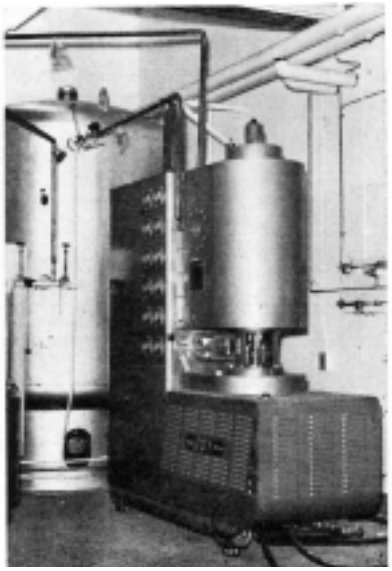
西下博紹
低温物質科学研究センター
Hirotsugu Nishishita
Research Center for Low Temperature and Materials Sciences, Kyoto University

平成 14 年４月に，低温物質科学研究センター発足に伴い，寒剤の供給は一段と安定的なものになってきた．さかのぼること当センターの寒剤供給施設の前身，旧理学部極低温研究室は京都大学全学の共同施設として，昭和 39 年に設立され，液体窒素，液体水素，液体ヘリウムを製造しその寒剤を全学に供給してきた．現在製造している寒剤は液体ヘリウムだけであるが，当初は液体窒素及び液体水素も製造していた．私が極低温研究室に加わったのは昭和 40 年のことで，それからもう 38 年間あまりになる．

窒素液化機は図 1 にあるようにアメリカの工作機械メーカの JOY という液化機で, 国内大手の商事会社が納入したものだった． 液化能力は毎時 15 立（リットル）であったが当初から安定性に欠けた液化機で，関係者が期待していた長期連続液化運転ができず，また取扱説明書も不備な箇所が多く保守にも手のかかる代物だった． 特に断熱材は，粉末状断熱材（パーライト）が充填してあり，保守時にこれを取出すと,液化室全体が粉末でまっ白によごれ（当然ながら防塵マスク，メガネ着用）大変な作業だった．後に，少々の断熱性能低下を犠牲にしてでも，粒状の発砲スチロールをマクラ状の布袋に入れ断熱材として置き換えた． この窒素液化機は,まず液体空気を発生させ精留塔で各々のガスの沸点を利用してガス分離し，酸素をはじめ不要なガスをウエストガスとして大気放出し必要とする液体窒素を連続的に取出すというシステムになっていた．モニター用の計器類が 20 個ばかりあり， ただ１個の計器を残して他の計器は正常値を指示していたが，この１個のウエストガス用の計器だけは，いつも正常値の範囲には入っていたものの正常値の下限を指示しているのが常だった．当時の運営委員会では，液化機自体が珍しいこともあり，液化機に非常に興味を持っておられた委員が多く，この現象について大変おかしいではないかという話がでた．一度納入業者に見解を聞こうということになり，技術者が点検方来室した． そこで我々委員会の一致した見解は以下の通りであった．すなわちこの液化機のシステム構造上，ウエストガスというからには運転開始時にはもっと多量に大気放出されて，ウエストガス指示用計器は正常値の上限近くを指示すべきで,１週間，２週間と連続運転すると，大なり小なりガス流路が詰まってくるからその頃にウエストガス量が徐々に低下してくるのであって，液化直後から低い値を示すのはおかしいのではないかとの意見だった．これに対し技術者は，大変な自信を持って,「そんなことはありません．ウエストガスが低めというのはそれだけ， この液化機の効率が良く非常に優れた液化機である」と反論していた．しかし連続運転ができていないので，結局は系の一部にあるキャピラリーというコイル状銅管をインピーダンスの低いものにするよう提案され（というより運営委員会として改善命令)，早々そのように手直しさせてからは１週間，２週間はも

とより最長１ヶ月強の連続運転ができるようになり，その後液体窒素の安定供給が出来るようになった．

やがて液体窒素の需要量も増加の一途をたどり，窒素液化機の老朽化にも伴って液体窒素は全量購入するようになった． ただ困ったことは構内道路両側に車や大型バイクなどに駐車されて，液体窒素タンクローリ車がセンターまで進入できないことが常で，邪魔になっている車のずらし移動に教職員や学生に応援を頼むことになった． やっとセンターに到着して液体窒素受入作業完了後，出構時には又別の車が邪魔してローリ車が出構できず再度人集めするということが度々あった． しかし京都大学北部構内交通委員会が立ち上がってからは交通事情がよくなった．それでも液体窒素納入業者は不安で（タンクローリ車運転手の仲間では，構内交通事情が悪く京大の極低温研究室はいやがっていた），構内指定方向で入退場できないときを想定して，一方通行道逆行許可証なるものを携帯させて欲しい旨の強い要望があり，水戸黄門様よろしく「これが目に入らぬか」ならぬ北部構内交通委員会発行の逆行許可証を貸与した． しかし数回，対向車に「控えおろう」しただけで構内交通事情も一段とよくなったようで，指定方向で入退場できるようになり，印籠ならぬこの逆行許可証は幸いにも早晩返却された．



水素液化機は図２に示した三菱電機製で液化能力は毎時８立だった．なにせ水素は可燃性ガスなので，その取扱いには神経をとがらせずにはいられなかった．これはヘリウムガス圧縮機でヘリウムガスを 15 気圧まで圧縮し，圧縮されたヘリウムガスは冷却水を用いて冷却された後，液化機本体に導かれて液体窒素で予冷され熱交換器を通る．そのあと２機のピストン式断熱膨張機を稼動させてエネルギーを失い自分自身の温度が下がる． 温度と圧力が下がったヘリウムガスは熱交換器で後からくる高圧側のラインのヘリウムガスを冷やしながら低圧側のラインを通って圧縮機の吸入側に戻る． この閉回路の行程を繰り返し即ちヘリウムガス冷凍機として働かせ，やがて水素ガス液化温度に達したところで，液化機内蔵の断熱真空容器内に収まっている熱交換器のまわりにほぼ大気圧まで減圧された水素ガスを導入して水素ガス雰囲気を作り，凝縮液化させるシステムであった．そのため，水素ガスを直接圧縮させて液化する方式でなかったので安全性はあった．

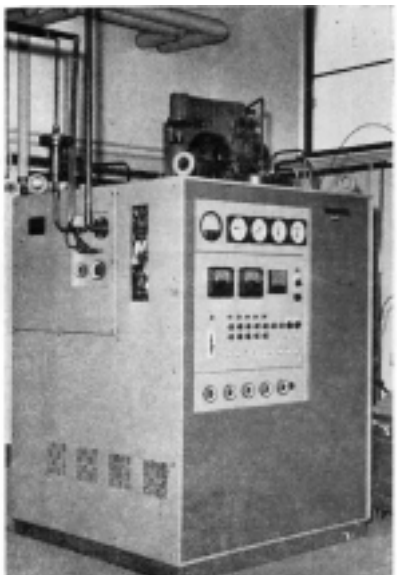


図２　水素液化機．　三菱電機株式会社製　UL-80H [1].

液体水素の供給は毎月１回で，水素液化室は現在のヘリウムガス回収圧縮気室に設置されていた．毎月１回の液化運転日は気をひきしめていた． 天井は軽量スレート葺きになっていて水素液化室内

を強制換気するよう強力な換気扇が設けられていた． 液化当日は運転終了まで液化機の側を離れず事故防止に努めていたが，冬季の液化運転供給日は厚着をしていても寒く，まさに看板どおり極低温研究室となった． 水素が液化し，液化機内蔵の断熱容器に溜まっていく様子は，液化機のトップフランジに取りつけられていたサイトグラスから容易に眺めることが出来た．適当に溜まったところで実験用ガラスデユアーに汲出しを始めるのだが，供給を受ける利用者も歯をがたがた振るわせながらガラスデユアーのスリットを通して溜まっていく液体水素レベルをそれこそ凍りついたような目で追っていた． この月１回恒例の供給が終わり，液化機運転終了後にとる暖はなによりのご馳走だった．この水素液化機は，後述の ADL 社製ヘリウム液化機をコピーしたようなもので，ピストン式断熱膨張機の回転の安定性にやや不安があったが，幸いにも国産でもあり，実際この液化機に主として関わった設計技術者が事あるごとに来室し対処したので早期に立ち上げることが出来た． 後年，液体水素の需要が無くなってからは，老朽化に伴い廃棄するまで液体ヘリウム液化機として転用して活用した．

図 3　ヘリウム液化機　ADL 社製コリンズ式モデル 100 [1].

初期のヘリウム液化機は図 3 に示した米国 ADL 社のコリンズ式ヘリウム液化機で，液化能力は毎時４立だった．当時の液化機はなにかと手入れが必要であったため，このヘリウム液化機にはしっかりしたマニュアルが備わっていた．初めてのオーバホールが必要となったとき，前述の通り液化機自体が珍しいこともあり，興味を持っている運営委員会メンバーに声をかけ参集されてから，医学部の公開手術よろしくオーバホールにとりかかった．液化機に内蔵されている水圧式リフトで本体熱交換器を吊り上げて取出したとき，一同「ウオー」と声を出して興味深く見ておられたのがついこの間のように思い出される．この液化能力毎時４立の液化機で，現在のようにヘリウム貯蔵容器に供給するのではなく，容量数立の実験用ガラスデユアーに直接供給を始めた．その後，数年でヘリウム利用者が急増し，液化機の液化能力不足で希望者全員に供給出来ないようになってきた．こうなると供給する研究室に優先順位を付けるわけにもいかず，とりあえず供給を受ける希望日の前日午後４時に液化室に集まりジャンケンで優先順位を決めるということになったが，それはそれはもう「今のチョキは後出しや」なんとかこの上もなく騒々しいものだった． その内. 強運者がいたとみえていつも優先順位の上位者が現れ「ジャンケンではなくアミダクジにして欲しい」との要望が出て（多分ジャンケンの弱かった人でしょう），液体ヘリウムの分配に運営委員会で検討の上，要望を取り入れアミダクジで決めることになった．前述通り午後４時に集合してくじを始めたが，静かになるのはアミダクジのクランクをたどる間だけで，結果がわかると合格発表よろしく一喜一憂していた． その後，昭和 45 年に特別設備費が認められこの液化機を改造し，液化能力毎時４立から８立に増強した．この改造は２機あるピストン式膨張機関の内の１機をガス処理量のより大きい機関に取り換えることであったが，このことによりヘリウムガス圧縮機が容量不足になるためこのままでは稼動できず，前述の水素液化機用のヘリウムガス圧縮機を転用しヘリウム液化運転にこぎつけた． 幸いにも期待通り， 液化能力毎時８立が確保され一息付くことが出来た．しかし，液体ヘリウムの需要は相変わらず年々増加の一途をたどった． そしてこの頃までには春日井昇氏（現 低温物質科学研究センター助手）が極低温研究室のス

タッフとして加わった.

昭和 51 年，このコリンズ式ヘリウム液化機が老朽化したのでその更新を目指した概算要求特別設備でヘリウム液化装置が認められ，図 4 の写真に示した英国 BOC 社のヘリウム液化機ターボクールが設置された． この時，建物が現在のように南側の道路一杯まで増築された． 前述のコリンズ式ヘリウム液化機は純ガス 99.995 パーセント以上のガスしか運転できず，各研究室から回収された不純ヘリウムガスは，専用の外部ヘリウムガス精製機で精製してから液化機を運転する方式だった．それに対してこの BOC 社のヘリウム液化機は，この頃既に主流になっていた新方式で，不純ヘリウムガスでも液化運転できるように，液化機の内部にヘリウムガス精製機が組み込まれた自動精製器付液化機であった． 液化能力は純ガス使用で毎時 30 立，不純ガス使用では毎時 20 立であった.（この内部精製器を使用すると，発生した冷媒の一部を精製器へ供給するため実効的な液化能力が低下する.） 寒冷生成はピストン式膨張エンジンではなくタービンを回してエネルギーを失い自ら温度が下がるいわゆるタービン方式だった． しかし，ヘリウムガス圧縮機は BOC 社選択により英国 BROOM WADE 社製で，相変わらず昔ながらのレシプロカル（往復動）型のものだった． 液化機本体自体は，ほぼ満足のいくものだったが，この圧縮機は空気圧縮機をベースにしたものでガスの性状から，ヘリウムガス圧縮機ではより高い圧縮熱を生じ，ピストン O リングが熱に耐えきれずガス漏れしてガスシールの役目をなさず改善しなければならなかった． このためピストン上部を水で冷やす水冷ジャケットを新たに設け，なんとかヘリウムガス圧縮機として使用できるようになった． しかしレシプロカル（往復動）型は大なり小なり故障の発生率が高く，特に弁部分の故障が多く厄介であった．やがてこの液化機でも，尚毎年液体ヘリウムの需要が増えつづけるため，又老朽化も手伝って 100 パーセントの供給に支障をきたすようになり始めた． この頃からは大塚晃弘氏（現 低温物質科学センター助手）も極低温研究室のスタッフに加わった.

平成６年３月にヘリウム液化機を更新することになった． この３代目の更新されたヘリウム液化機及びヘリウムガス圧縮機は共に神戸製鋼製で，間もなく維持費が切れる平成 16 年３月現在も極めて快調に稼動している． 液化能力は不純ガス使用で公称毎時 150 立だが実質 170 立前後である． 液体ヘリウム貯槽は 3000 立を設置している． この液化機もタービン方式で内部精製器付である． 液化用ヘリウムガス圧縮機は従来から設置されてきたレシプロカル型ではなく時流に合ったスクリューー型である． このスクリューー型圧縮機はお互い擦り合うような部分が少なくデリケートな弁部分がないので故障は殆ど無い． 現に圧縮機はこれまで故障を起こしておらず，真に喜ばしいことである．ただし内部精製器については，第三段熱交換器が内部破壊するという大事故を平成 10 年に起こした．調査の結果，設計ミスが指摘されているが，同様の構造をしている第二段熱交換器は改造なしに使っているので，故障の不安はいつも抱えている.

図 4　ヘリウム液化機．英国 BOC 社製モデル ターボクール．左から順に：バッファータンク，ベアリングガスタンク，液化機本体と操作盤，液体ヘリウム貯槽．この部屋は現在，液体ヘリウムベッセルの置き場として使われている.

図 5　神戸製鋼製ヘリウム液化機 HL-150P と筆者．左手の操作盤の後方にあるのが液化機本体。右手は液体ヘリウム貯槽.

さて神戸製鋼製のヘリウム液化機も更新の時期が近づき，また低温物質科学研究センターが設立されるに伴い，補正予算で平成 15 年，新規にヘリウム液化機が増設された．初期調整最適化後平成 15 年６月にはフル稼働が可能となり，液体ヘリウムの供給能力は大幅に増加した．このヘリウム液化機はスイスの LINDE 社製でタービン方式内部精製器付き TCF-200 型である． 液化能力は不純ガス使用で公称毎時 250 立だが実質約 270 立である． 液化用ヘリウムガス圧縮機は前川製作所製でスクリュー型である． 液体ヘリウム貯槽は 6000 立を設置している． この液化機のシステム全体がモニター出来るようパソコンに取りこみ集中管理している． この液化機を設置するにあたり有りがたかったことは，時期を同じくしてセンター西側にある馬術クラブの馬糞置場と馬舎が移設されることになり， 液化機関連機器設備をセンター西側に若干拡張して設置できたことだ．又，これまで馬糞置場

図 6　新しいヘリウム液化機.
LINDE 社製モデル TCF-200.

からの臭いが西風と共に容赦なく入ってきたり，靴下の上からでも吸血する強靭な蚊が何処からともなく進入したりで，蚊取りマットは欠かせなかった．タンクローリからの液体窒素受入立会いのとき， この馬糞を近郊農家から時々取りに来ていたのを見受けたのだが，「大変良い肥料になり全く素晴らしい野菜が出来るのですよ」という農家の人の話にローリ運転手も「それじゃあ盆栽の肥料に貰っていこう」と袋に詰めてお土産に持ち帰っていた．後年私も盆栽作りの真似事宜しく数鉢育てていたので，馬糞のことを思いだし一度肥料を作ろうと吉田山の落ち葉，米糠，当の馬糞をゴミ袋に入れて発酵させ肥料を作った． この出来あがった肥料をお気に入りの３色咲きさつき鉢にも施したが，肥料が効きはじめた頃，葉はどんどん大きくなり樹形は崩れるわ，盆栽の大敵，大葉になるわで大失敗作品になってしまった． 液体窒素ならぬ窒素肥料成分が多く葉の成長に抜群に良いことが後に

わかったが後の祭になってしまった.

さて，施設設立以来念願だった寒剤の安定供給という面で，ヘリウム液化機もデュアルに設置され，大量の液体ヘリウムが供給できるシステムに移行できた今日の状況は，ジャンケンやアミダクジ時代の寒剤利用者にとっては夢のまた夢のようなことだろう.

低温物質科学研究センター（旧理学部極低温研究室）は高圧ガス保安法（旧高圧ガス取締法）に基づき，法規制を受けた第一種製造事業所である（図 7）. 退官するにあたり，この低温物質科学研究センターが全学への液体ヘリウム，液体窒素の安定供給を続けると共に，保安に鑑み従来通り事故のないよう運営され，ますます充実，発展していくことを切に期待しています.

[1] 「京都大学極低温研究室」(1965).

図 7　現在の低温物質科学研究センター棟